



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO REGIONAL
TECNOLOGIA EM PRODUÇÃO SUCROALCOOLEIRA



THIAGO ALVES RAMOS

PERDAS INDUSTRIAIS NA RECEPÇÃO, PREPARO E MOAGEM DA
CANA NO SETOR SUCROENERGÉTICO

João Pessoa/ PB

2020

THIAGO ALVES RAMOS

**PERDAS INDUSTRIAIS NA RECEPÇÃO, PREPARO E MOAGEM DA CANA
NO SETOR SUCROENERGÉTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional, da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para a obtenção do título Tecnólogo em Produção Sucroalcooleira.

Orientadora: Prof. Dr^a. Erika Adriana de Santana Gomes.

João Pessoa

2020

**Catálogo na publicação Seção
de Catalogação e Classificação**

R175p Ramos, Thiago Alves.

Perdas industriais na recepção, preparo e moagem da cana no setor
sucroenergético / Thiago Alves Ramos. - João Pessoa, 2020.
38 f. : il.

Orientação: Prof Drª Erika Adriana de Santana Gomes Gomes.
TCC (Graduação) - UFPB/CTDR.

1. Perdas. 2. Recuperação de sacarose. 3. Processo produtivo. 4.
Sucroenergético. I. Gomes, Erika Adriana de Santana Gomes. II. Título.

UF

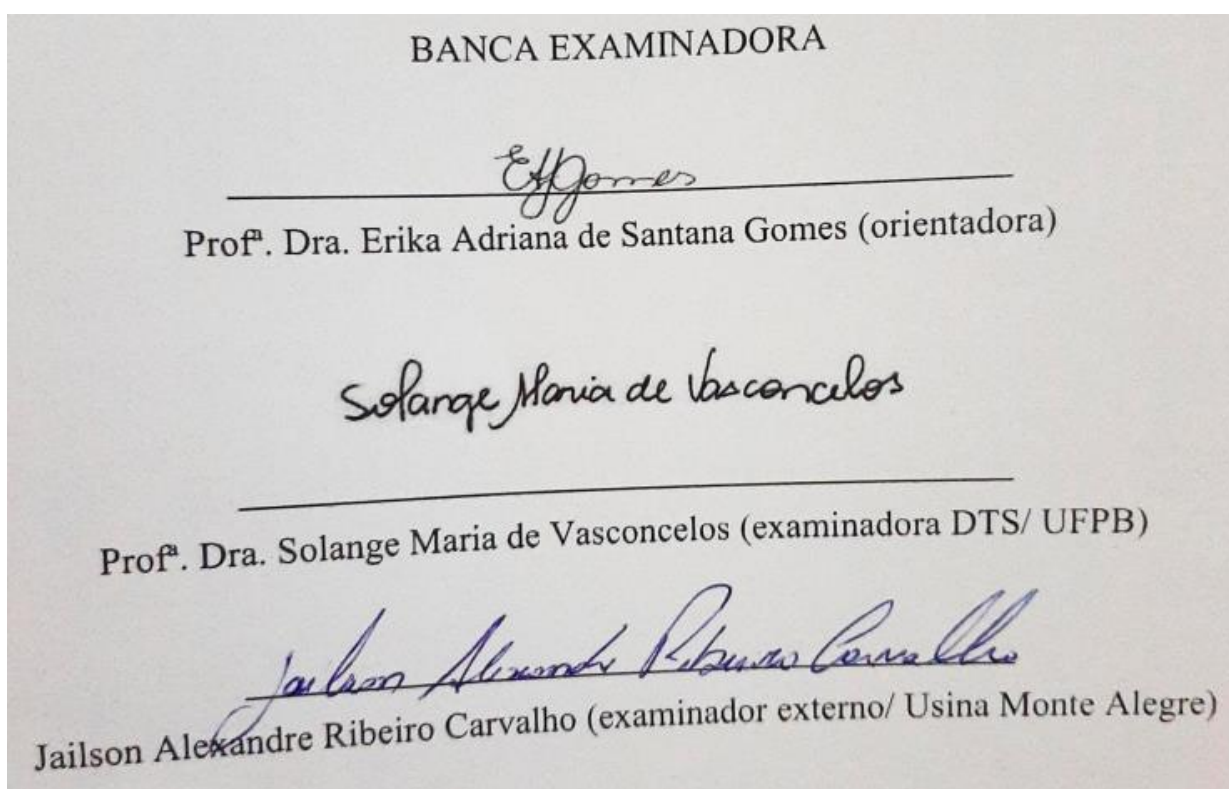
CD

THIAGO ALVES RAMOS

**PERDAS INDUSTRIAIS NA RECEPÇÃO, PREPARO E MOAGEM DA CANA
NO SETOR SUCROENERGÉTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentada ao Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional, da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para a obtenção do título de Tecnólogo em Tecnologia em Produção Sucroalcooleira.

RESULTADO: APROVADO. NOTA: 9,9



João Pessoa, _07__de _dezembro_ de 2020

DEDICATÓRIA

Dedico esta conquista a minha família, em especial a minha mãe por ser um exemplo de determinação, garra e fortaleza que me ensinou, desde muito cedo, os valores da educação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por seu amor incondicional, pela capacidade de compreensão, sabedoria e discernimento por Ele concedido.

A minha querida e amada mãe, Eliane Ramos, e ao meu pai, Valter Ramos, pelo incentivo e apoio dado em todos os momentos, como também pelos valores ensinados exemplos de determinação e sacrifícios ao longo da vida.

A minha orientadora, professora Dra. Érika Adriana de Santana Gomes, pelo incentivo, orientação e apoio no desenvolvimento desse trabalho, como também por todo conhecimento compartilhado em sala de aula e em projetos apresentados.

Aos demais professores do Departamento de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira, por todo conhecimento técnico e científico compartilhado, em especial aqueles com quem tive a oportunidade de participar em projetos de monitoria e extensão, nas pessoas de Liana Filgueira, Danielle Jaguaribe, Solange Vasconcelos e Márcia Cezar.

A usina Monte Alegre, em especial a gerente industrial Marlene Oliveira, pela confiança, apoio, incentivo e ajuda no levantamento de dados, como também a todos os colaboradores da usina por compartilhar o conhecimento prático do dia-dia.

Por fim, quero agradecer a todos os meus AMIGOS, estes que sempre permaneceram, que fizeram parte da minha caminhada sendo, muitas vezes, o alívio em meio a jornada desgastante e estressante do dia-dia.

RESUMO

Na indústria sucroenergética as perdas são denominadas por determinadas e indeterminadas e podem ser divididas entre: perdas físicas, químicas e microbiológicas sendo decorrente dos seguintes fatores: matéria-prima de má qualidade; condução inadequada do processo, layout, equipamentos, equipe de trabalho e falta de supervisão. As perdas industriais causam grandes problemas econômicos quando não gerenciadas de maneira adequada. Esse trabalho trata-se de um estudo de caso realizado na empresa Usina Monte Alegre, durante a safra 2020/21 que teve como objetivo quantificar e avaliar as perdas determinadas no processo de recepção, preparo e moagem da cana-de-açúcar. O trabalho foi realizado através de coleta de dados referente aos parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar e do bagaço residual, de pontos estratégicos, como: cana no campo, recebimento, preparo e moagem da cana. As perdas de sacarose foram calculadas através da variação percentual entre os parâmetros tecnológicos avaliados. Por meio do estudo realizado foi possível perceber, nas semanas analisadas, uma variação percentual negativa de pureza, significando a queda da pureza entre as etapas analisada, como também a evidência de maiores perdas que ocorreram entre a cana na entrada e a cana na esteira, nas semanas 9 e 14, essas perdas ficaram evidenciadas através da redução da variação percentual de pureza e do aumento da variação percentual do AR, já os dados coletados do bagaço residual mostraram uma estabilidade dos parâmetros analisados.

Palavras chaves: perdas; recuperação de sacarose; processo produtivo; sucroenergetico.

ABSTRACT

In the sugar-energy industry, losses are called determined and indeterminate and can be divided between: physical, chemical and microbiological losses, resulting from the following factors: poor quality raw material; inadequate conduct of the process, layout, equipment, work team and lack of supervision. Industrial losses cause major economic problems when not properly managed. This work is a case study carried out at Usina Monte Alegre, during the 2020/21 harvest, which aimed to quantify and evaluate the losses determined in the process of receiving, preparing and milling sugarcane. The work was carried out by collecting data on the technological parameters of sugarcane, from strategic points, such as: cane in the field, receiving, preparing and crushing the cane. The sucrose losses were calculated through the percentage variation between the evaluated technological parameters. Through the study carried out it was possible to perceive, in the analyzed weeks, a negative percentage variation of purity, meaning the decrease of purity between the analyzed stages, as well as the evidence of greater losses that occurred between the cane at the entrance and the cane on the conveyor, in weeks 9 and 14, these losses were evidenced through the reduction of the percentage variation of purity and the increase of the percentage variation of the AR, whereas the data collected from the residual bagasse showed a stability of the analyzed parameters.

Keywords: losses; sucrose recovery; productive process; sucroenergetico.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Composição da cana-de-açúcar	13
Figura 2 – Fluxograma do processo de fabricação de açúcar e álcool.....	21
Figura 3 - Fluxograma das análises tecnológicas da cana de açúcar.....	22
Figura 4 – Variação percentual de pureza durante o período de estudo.	32
Figura 5 – Gráfico da variação percentual de Pureza durante o período de estudo.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Indicadores de qualidade da cana-de-açúcar.....	14
Tabela 2 – Análise da deterioração da cana após queima/corte.....	16
Tabela 3 – Efeitos prejudiciais causados pela dextrana.....	17
Tabela 4 – Classificação das impurezas minerais e vegetais.....	18
Tabela 5 – Principais causas de perdas indeterminadas.....	19
Tabela 6 – Estimativa da inversão esperada em função do °brix, pH e temperatura.....	20
Tabela 7 – Avaliação dos parâmetros tecnológicos nas semanas avaliadas.....	30
Tabela 8 – Avaliação dos parâmetros tecnológicos do bagaço nas semanas avaliadas.....	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 OBJETIVO GERAL	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA	13
2.1 COMPOSIÇÃO DA CANA DE AÇÚCAR.....	13
2.2 FATORES DE QUALIDADE DA MATÉRIA-PRIMA	13
2.2.1 Variedades da cana-de-açúcar	14
2.2.2 Condições ambientais	15
2.2.3 Maturação da cana-de-açúcar	15
2.2.4 Tempo de queima, corte e processamento.....	15
2.2.5 Deterioração da cana-de-açúcar	16
2.2.6 Impurezas	17
2.3 PERDAS INDUSTRIAIS	18
2.3.2 Perdas industriais por destruição da sacarose.....	19
2.6 ANÁLISES DE QUALIDADE DO CALDO DA CANA	22
2.6.1	25
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
4.1 AMOSTRAGEM	28
4.2.1	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 DADOS DE QUALIDADE DO CALDO DA CANA.....	30
4.1 DADOS DO BAGAÇO RESIDUAL	33
5. CONCLUSÃO.....	35
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1 INTRODUÇÃO

O setor sucroenergético é responsável por fomentar a economia nacional através da produção e exportação dos seus produtos: açúcar, etanol e energia elétrica (CONAB, 2019). Além disso, são responsáveis por empregar milhares de trabalhadores, gerando renda e sustentabilidade local (SANTOS, 2017).

No Brasil, a indústria sucroenergética teve uma produção de 642.717,8 mil toneladas de cana-de-açúcar, na safra 2019/20, pertencendo ao Nordeste, cerca de 7,6% da produção nacional (CONAB, 2020).

Na Paraíba, a indústria sucroenergética na safra 2020/21 tem uma estimativa de produção de 6.772,6 mil toneladas de cana-de-açúcar, sendo 1,054% da estimativa de produção nacional. Desse modo, é estimado uma produção de 442.494,3 mil litros de etanol e 147,1 mil toneladas de açúcar (CONAB, 2020).

As perdas na indústria sucroenergética são definidas como determinadas e indeterminadas. As perdas determinadas são detectadas e mensuradas. Enquanto, as perdas indeterminadas não são detectadas e mensuradas (CUNHA, 1974; FERNANDES, 2003).

Segundo Saxena *et.al* (2010), estudos apontam que, em média, 20-30% de toda sacarose sintetizada pela cana-de-açúcar é perdida entre as etapas de manuseio da matéria-prima e processamento industrial. Com isso, as perdas de açúcares pós colheita é um dos dilemas mais preocupantes vivenciado pelo setor sucroenergético.

Nos últimos anos, as indústrias canavieiras têm concedido maior relevância aos fatores intrínsecos e extrínsecos que impactam na qualidade da matéria-prima e consequentemente no processo produtivo. Os fatores relacionados com a composição da cana-de-açúcar são denominados intrínsecos, são estes: teor de sacarose, açúcares redutores, fibras, compostos fenólicos, amido, ácido aconítico e minerais. Já os fatores extrínsecos são aqueles que podem afetar os fatores intrínsecos, como: impurezas minerais, impurezas vegetais e ação dos microrganismos (EGGLESTON *et al.*, 2001; GODSHALL *et al.*, 2002).

A ação das circunstâncias, tais como: danos nos colmos, incidência de pragas e doenças, ocorrência ou não de chuvas, umidade relativa do ar, temperatura do ambiente, além dos subsistemas de colheita e de transporte de cana, provocam o efeito potencializado sobre os fatores extrínsecos. Dessa forma, para se obter um bom rendimento industrial, torna-se indispensável a adição de controles de qualidade abrangente à qualidade da matéria-prima e à cadeia produtiva (BIGATON *et al.*, 2018).

Segundo Hugot (1977), as principais perdas na cadeia produtiva são decorrentes, principalmente, dos seguintes fatores: matéria-prima de má qualidade; condução inadequada do processo, layout, equipamentos, equipe de trabalho, falta de supervisão.

Com a globalização e o aumento da concorrência no mercado mundial, torna-se cada vez mais necessário, para as indústrias, dedicar-se ao controle e contenção de perdas, sendo elas determinadas e indeterminadas, no processo produtivo com a finalidade de reduzir gastos e aumentar o poder competitivo da indústria (SANTOS, 2017).

O presente trabalho trata-se de um estudo de caso realizado na usina Monte Alegre – Mamanguape - PB, onde foram quantificadas e avaliadas as perdas determinadas de açúcar no processo de recepção, preparo e moagem da cana-de-açúcar durante a safra de 2020/2021.

A usina Monte Alegre pertence ao grupo Soares de Oliveira desde 1990 e atua na produção de açúcar (cristal, triturado, demerara e VHP), etanol e energia, sendo atualmente responsável no varejo pela marca: Açúcar Alegre. Possui capacidade, média, de moagem de 250 toneladas de cana por hora e é pioneira no Brasil com a fabricação de açúcar com a tecnologia de clarificação por ozonização, sem utilização de enxofre.

1.1 Objetivo geral

Avaliar as perdas determinadas de sacarose na safra 2020/2021, durante o recebimento, preparo e moagem da cana-de-açúcar através das análises de qualidade da cana de açúcar e do bagaço.

1.2 Objetivos específicos

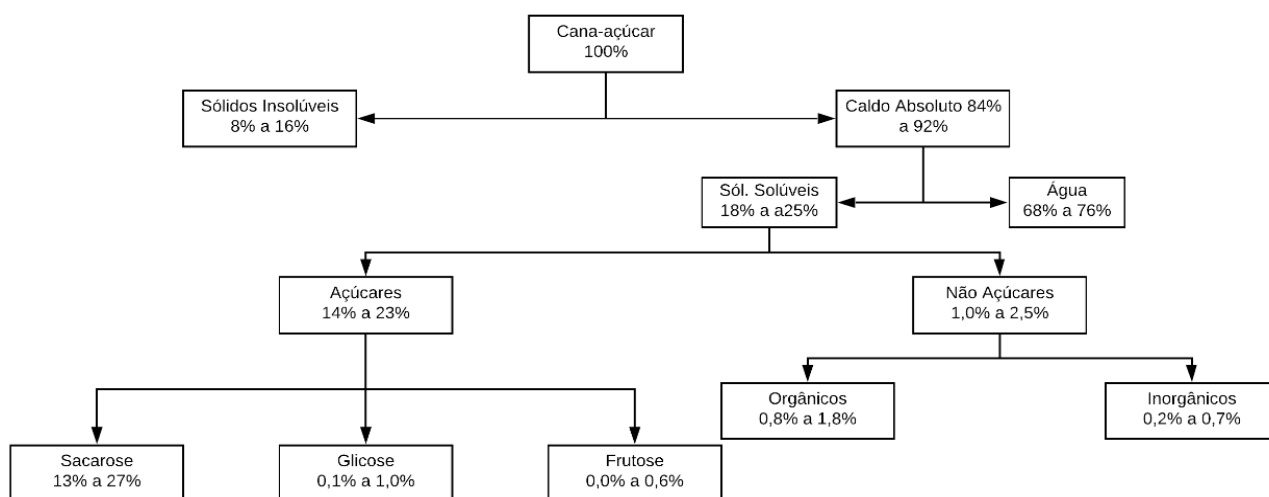
- Associar os dados de qualidade da cana-de-açúcar da pré-colheita com a pós colheita, preparo e residual no bagaço e com a literatura, permitindo quantificar a redução percentual e identificar os fatores que contribuem para as perdas determinadas, possibilitando otimizar o rendimento da produção de açúcar e etanol.
- Relacionar as análises de qualidade com a origem da matéria-prima, forma que foi colhida, tempo de transporte e processamento, visando associar com as perdas percentuais de sacarose;
- Avaliar as perdas através das análises de umidade e Pol do bagaço.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Composição da cana de açúcar

A composição da cana-de-açúcar varia de acordo com diversos fatores, como: condições climáticas da região cultivada, tipo de solo, sistema de cultivo, estágio de maturação, condições de cultivo, entre outros fatores. Em geral, a cana-de-açúcar é constituída de fibra e caldo, ou seja, sólidos insolúveis e solúveis, respectivamente. E estes são constituídos por compostos orgânicos e inorgânicos, conforme demonstrados na Figura 1, (SANTOS; BORÉM, 2016).

Figura 1 – Composição da Cana-de-açúcar



Fonte: adaptado de SANTOS; BORÉM, 2016

2.2 Fatores de qualidade da matéria-prima

O objetivo principal da indústria canavieira é recuperar açúcar, com isso um dos principais fatores analisados é a qualidade da cana-de-açúcar, tendo em vista que esta influencia diretamente a quantidade de açúcar a ser extraído no caldo bem como sua pureza (ALBUQUERQUE, 2016).

A qualidade da cana-de-açúcar pode afetar diretamente, positiva ou negativamente, a produção de açúcar e etanol da unidade produtora. Essa qualidade é avaliada de acordo com os parâmetros de cultivo, estado de maturação, impurezas minerais e vegetais, ação

microbiológica, qualidade do canavial e corte, colheita e carregamento (RIPOLI; RIPOLI, 2004).

O controle de qualidade na unidade produtora é realizado através do setor de laboratório, o qual é responsável pelas análises e avaliação dos parâmetros da cana-de-açúcar, bem como dos seus produtos. Nesse contexto, são utilizados indicadores de qualidade, conforme descrito na Tabela 1, que possibilitam a verificação e controle do processo produtivo (SANTOS; BORÉM, 2016).

Tabela 1: Indicadores de qualidade da cana-de-açúcar

Indicadores de Qualidade	Valores Recomendados
Pol	>14
Pureza	>85%
ATR	>15%
AR	<0,8%
Fibra	11 a 13%
Tempo de queima/corte	<35h (corte manual)
Impureza mineral	<12kg/t cana
Contaminação	<5,0 x 10 ⁵ bastonetes/ml no caldo
Teor de álcool no caldo	<0,6% ou <0,4% °Brix
Acidez sulfúrica	<0,80
Dextrana	<500 ppm/°Brix
Amido	<500ppm/°Brix
Broca	<1,0%
Palhiço na cana	<5,0%
Ácido aconítico	<1.500ppm/°Brix

Fonte: Adaptado de SANTOS; BORÉM, 2016.

2.2.1 Variedades da cana-de-açúcar

Dentre os fatores que influenciam a qualidade da matéria-prima, a variedade da cana-de-açúcar escolhida é o fator principal determinante, em vista da sua composição tecnológica (ALBUQUERQUE, 2016). A cana-de-açúcar é geralmente melhorada geneticamente, a fim de se obter uma variedade com maiores rendimentos agrícolas e industriais, com maior teor de sacarose e resistência as adversidades como: seca, doenças e pragas (REIN, 2013).

2.2.2 Condições ambientais

Os fatores climáticos, tais como: umidade e temperatura podem influenciar de maneira significativa nas variáveis tecnológicas da cana-de-açúcar e, conseqüentemente, na qualidade desta. Dessa forma, segundo Humbert (1968) e Amorim *et al.* (2000), as condições ambientais de temperatura e umidade estão diretamente relacionadas no processo de maturação e florescimento da cana-de-açúcar, bem como na quantidade de impurezas e bactérias presentes na cana. Além disso, segundo Mutton e Mutton (2005), os fatores ambientais causam reflexos diretos no processo de deterioração da sacarose, no pós colheita, gerando perdas de açúcares.

2.2.3 Maturação da cana-de-açúcar

O processo de maturação da cana-de-açúcar é de fundamental importância para a indústria, quando se trata de rendimentos e logística industrial. A maturação da cana-de-açúcar está relacionada ao estágio ótimo de colheita, quando existe uma composição máxima de açúcares na matéria-prima. Além disso, a maturação da cana-de-açúcar requer uma logística industrial para a garantia do fornecimento de matéria-prima à indústria com a máxima qualidade (ALBUQUERQUE, 2016; MOURA *et al.*, 2014).

2.2.4 Tempo de queima, corte e processamento

O tempo de queima-corte e processamento são fatores importantes relacionados à qualidade da matéria-prima, sendo estes os principais responsáveis por uma grande quantidade de deteriorações (ALBUQUERQUE, 2016). O longo tempo entre queima, corte e processamento aumentam consideravelmente os níveis de dextranas e açúcares redutores, diminuindo a taxa de recuperação de açúcar na indústria (SILVA *et al.*, 1994).

Um estudo realizado pelo IAA/PLANALSUCAR, evidenciou as perdas de sacarose causadas pelo tempo decorrido após a queima/corte conforme descrito na Tabela 2. O estudo considerou a cana queimada mantida em pé no canavial (QP) e a cana queimada cortada (QC) entre um tempo de queima/corte de 0 horas a 240 h.

Tabela 2: Análise da deterioração da cana após queima/corte

PARÂMETROS	TEMPO DECORRIDO					
	0h		48h		240h	
	QP1	QC2	QP1	QC2	QP1	QC2
Perda de peso	-	O, OO	-	8,93	-	20,76
Caldo extraído	69,14	87,90	67,69	88,02	71,26	62,40
°Brix do caldo	20,37	20,80	19,13	21,93	18,70	24,20
Pol do caldo	19,01	19,04	17,49	20,05	13,72	18,92
Pol da cana	16,36	16,33	14,92	17,12	11,81	16,88
Fibra da cana	13,97	14,26	14,70	14,63	13,94	17,10
Pureza	93,30	92,43	91,41	91,38	73,33	78,21
AR do caldo	0,28	0,30	0,43	0,64	2,74	2,93
AR da cana	0,22	0,24	0,34	0,42	2,19	2,21
ART	18,39	18,86	18,70	19,69	17,74	24,17
Acidez	0,15	0,18	0,30	0,28	1,79	0,44
pH	5,41	5,37	5,28	5,24	3,76	4,66

Fonte: Adaptado de ORLANDO, 1983

2.2.5 Deterioração da cana-de-açúcar

As principais consequências da deterioração da cana-de-açúcar são: produção de dextranas, aumento de açúcares invertidos, aumento na contaminação por leveduras e redução do pH causados pelo aumento de ácidos orgânicos (ALBUQUERQUE, 2016).

Segundo Albuquerque (2016), entre o tempo de queima e processamento da cana as deteriorações geralmente são causadas por processos enzimáticos, químicos e microbiano. A bactéria do gênero *Leuconostoc mesenteroides* é a principal responsável pela deterioração microbiana, causando fermentação e perda de sacarose além de formação de dextrana.

As cepas de *Leuconostoc mesenteroides*, causadoras das dextranas, são capazes de consumir uma grande quantidade de açúcar presente no caldo da cana-de-açúcar em um curto período de tempo (BUKHARI *et al.*, 2015).

Já na deterioração enzimática, a enzima invertase, presente naturalmente na planta, é a principal responsável pela inversão de sacarose em glicose e frutose (ALBUQUERQUE, 2011).

A deterioração química é dada através, principalmente, de fatores como: pH e temperatura. Estes causam a inversão da sacarose, quando pH for ácido e a temperatura for

muito elevada, ou ainda a destruição dos açúcares invertidos (glicose e frutose), quando o pH for alcalino (MANTELATTO, 2005).

No processo produtivo, a formação de dextrana é altamente prejudicial na recuperação da sacarose em produtos, causando perdas de rendimento industrial, além de diversos outros problemas resumidos na Tabela 3. Além disso, devido sua alta polarização, a dextrana presente em açúcares, caldos e xaropes podem causar falsas leituras de polarização, devido a sua estrutura química (BUKHARI *et al.*, 2015).

Tabela 3: Efeitos prejudiciais causados pela dextrana.

Perdas de produção		Perdas de sacarose	Perdas financeira diretas
Aumento da viscosidade, causando:	<ul style="list-style-type: none"> • Redução na taxa de filtração; • Redução na taxa de evaporação; • Redução na taxa de floculação; • Aumento no tempo de decantação; • Formação de cristais defeituosos (alongados). 	<ul style="list-style-type: none"> • Formação da dextrana; • Efeito melassigênico (dificuldade de cristalização do açúcar). 	<ul style="list-style-type: none"> • Falsas leituras de polarização, levando ao pagamento excessivo ao agricultor.

Fonte: adaptado de SINGLETON *et al.*, 2001

2.2.6 Impurezas

Impurezas minerais são definidas como terras, areias e pedras que são arrastadas na colheita e adentram o processo produtivo, causando diversos problemas, tais como: contaminação, desgastes de equipamentos, embuchamentos, entupimentos e incrustações, gerando perdas de açúcares e paradas de manutenções não programadas (PAES, 2014).

As palhas, palhiço e ponteiros são definidas como impurezas vegetais, que são decorrentes da não queima ou falhas do corte da cana. As impurezas vegetais, assim como as impurezas minerais, causam diversos problemas no processo produtivo, como: aumento da

concentração de amido e dextrana, menor rendimento na fermentação dentre outros problemas (PAES, 2014).

Conforme Paes (2014), as impurezas podem ser classificadas, quanto a sua percentagem, em baixa, média e alta, conforme demonstrado na Tabela 4. Essas concentrações variam de acordo com o solo, tipo de colheita (manual ou mecanizada) e manobras realizadas no campo.

Tabela 4: Classificação das Impurezas Minerais e Vegetais

Classificação	Percentagem de impurezas minerais	Percentagem de impurezas vegetais
BAIXA	<0,7%	<3,5%
MÉDIA	0,7% a 1,2%	3,5% a 6%
ALTA	>1,2%	>6%

Fonte: Adaptada de PAES, 2014.

2.3 Perdas industriais

2.3.1 Perdas indeterminadas

Segundo Albuquerque (2016) e Rein (2013), as perdas indeterminadas ou desconhecidas são aquelas onde não se conhece ao certo sua origem. Estas perdas são calculadas por meios de balanço e podem ser valores reais de sacarose ou aparentes devido a problemas analíticos ou de estimativas. As perdas indeterminadas são causadas ou afetadas pelos seguintes motivos descritos, abaixo, na Tabela 5.

Tabela 5: Principais causas de perdas indeterminadas.

Problemas	Descrição
Erro de medição e análise	Erros de estimativas de vazões, armazenamento e estoque, erros de amostragem,
Perdas físicas	Vazamentos, gotejamentos, liquidações, transbordamento de tanques, arrastes de açúcar.
Perdas microbiológicas	Pontos mortos de acúmulo de caldo parado proliferando bactérias, formação de dextrana, ácido lático.
Perdas químicas	Inversão da sacarose causada pelos fatores de pH baixo ou temperatura elevada.

Fonte: Autor, 2020.

2.3.2 Perdas industriais por destruição da sacarose

Segundo Rein (2013), as perdas por destruição da sacarose podem ocorrer, por três meios principais: infecção microbiana, inversão ácida e inversão enzimática e ocorrem em sua maioria no processo de moagem.

De acordo com Hugot (1977), as perdas por destruição da sacarose em uma unidade industrial sem controles podem chegar a 2% do total de sacarose da cana.

As perdas de sacarose devido a infecção microbiana é um problema recorrente nas unidades produtoras e causam perdas econômicas significativas. Tendo em vista que o caldo da cana-de-açúcar é um ambiente propício para multiplicação dos microrganismos, estes destroem a sacarose presente no caldo formando outros produtos como: dextranas, manitol, álcool e ácidos orgânicos causando efeitos negativos no processo de recuperação de açúcar (TILBURY *et. al.*, 1977).

A condições ácidas no caldo da cana-de-açúcar, além de pH baixo e a elevação na temperatura, causam um efeito potencializado da inversão química da sacarose em glicose e frutose. Além disso, a inversão da sacarose também pode ocorrer por via enzimática, através da enzima invertase (REIN, 2013).

Rein (2013) demonstra os impactos do pH, °Brix e temperatura na inversão da sacarose estimada por hora através de cálculos, conforme demonstrados na Tabela 6. Os valores estimam a quantidade em gramas de sacarose invertida por 100g de sacarose em solução em 1 (uma) hora.

As perdas por destruição da sacarose, em sua maioria, podem ser evitadas através de controles de limpezas periódicas e sanitizações químicas por meio de adição de bactericidas (Tabela 6) (REIN, 2013).

Tabela 6: Estimativa da Inversão Esperada em Função do °Brix, pH e Temperatura

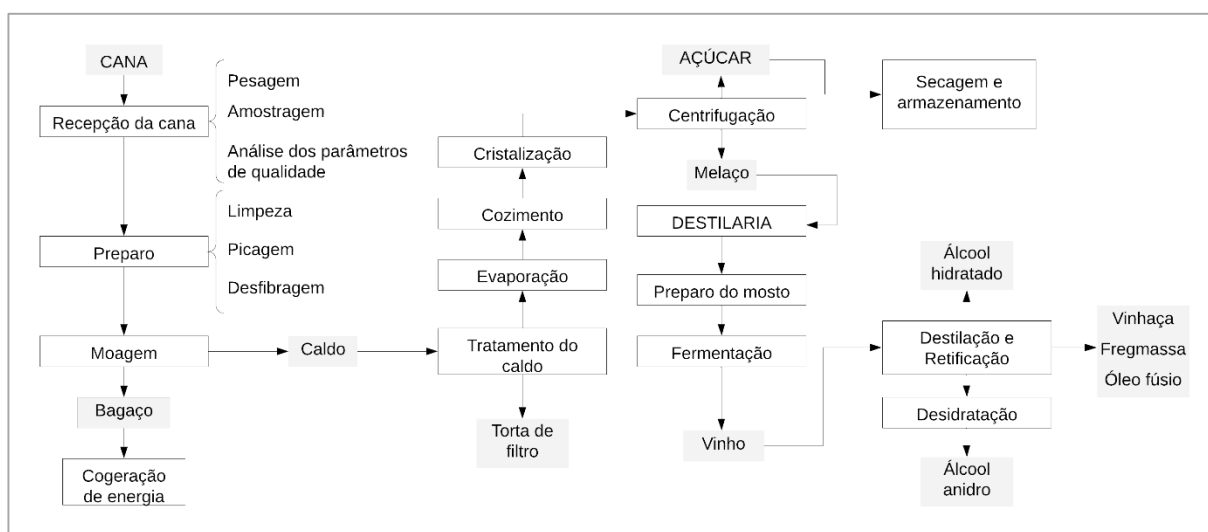
Temperatura em °C	Brix em g/100g	pH 25°C					
		4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
50	10	0,042	0,014	0,005	0,002	0,001	0,000
	20	0,039	0,013	0,004	0,002	0,001	0,000
	30	0,035	0,012	0,004	0,001	0,001	0,000
	40	0,032	0,010	0,004	0,001	0,000	0,000
	80	0,013	0,004	0,001	0,001	0,000	0,000
60	10	0,143	0,047	0,017	0,006	0,003	0,001
	20	0,132	0,044	0,016	0,006	0,002	0,001
	30	0,120	0,040	0,014	0,005	0,002	0,001
	40	0,108	0,036	0,013	0,005	0,002	0,001
	80	0,043	0,014	0,005	0,002	0,001	0,000
70	10	0,453	0,152	0,056	0,022	0,010	0,005
	20	0,419	0,141	0,052	0,021	0,009	0,004
	30	0,382	0,128	0,047	0,019	0,008	0,004
	40	0,342	0,115	0,042	0,017	0,007	0,004
	80	0,137	0,046	0,017	0,007	0,003	0,001
80	10	1,340	0,450	0,174	0,073	0,034	0,018
	20	1,241	0,424	0,161	0,068	0,032	0,017
	30	1,133	0,387	0,147	0,062	0,029	0,015
	40	1,015	0,346	0,131	0,055	0,026	0,014
	50	0,885	0,302	0,114	0,048	0,023	0,012
	60	0,741	0,253	0,096	0,040	0,019	0,010
90	10	3,704	1,292	0,508	0,226	0,114	0,065
	20	3,432	1,196	0,470	0,209	0,106	0,061
	30	3,136	1,092	0,429	0,191	0,096	0,055
	40	2,812	0,978	0,384	0,171	0,086	0,049
100	10	9,483	3,420	1,397	0,657	0,357	0,224
	20	8,807	3,168	1,294	0,608	0,330	0,208
	30	8,068	2,895	1,181	0,555	0,301	0,190
110	10	22,025	8,428	3,613	1,800	1,053	0,726
	20	20,563	7,824	3,348	1,667	0,975	0,672
	30	18,946	7,164	3,059	1,522	0,89	0,614
120	10	44,420	18,993	8,695	4,622	2,921	2,211
	20	41,929	17,709	8,073	4,284	2,706	2,048

Fonte: Adaptado, Rein (2013).

2.5 Processo produtivo de açúcar e álcool

O sistema produtivo de açúcar é composto pelas seguintes etapas: recepção, preparo, moagem, tratamento do caldo, evaporação, cozimento, centrifugação e secagem. Já a produção de álcool é composta pelas etapas de: fermentação, destilação e desidratação. A Figura 2 mostra a sequência das etapas de produção do açúcar e álcool.

Figura 2: Fluxograma do processo de fabricação de açúcar e álcool



Fonte: Autor, 2020.

No processo de recepção, a cana-de-açúcar é pesada e amostrada a fim de se avaliar seus parâmetros tecnológicos e quantificar a qualidade da matéria-prima que está adentrando ao processo. Posteriormente a cana-de-açúcar passa por um processo de preparo que tem como objetivo facilitar a extração do caldo, através da desintegração dos colmos de cana. No preparo, a cana passa por um processo de lavagem, picagem e desintegração.

A etapa de extração do caldo é uma operação de separação de materiais, onde separa-se o caldo do bagaço da cana. Ocorre por meio de esmagamento através de rolos que exercem pressão sobre a cana.

Após ser extraído o caldo de cana passa pelo processo de tratamento, onde são removidas as impurezas presentes através do processo de clarificação. Depois de clarificado, o caldo passar pela evaporação, cozimento, cristalização, centrifugação e secagem do açúcar.

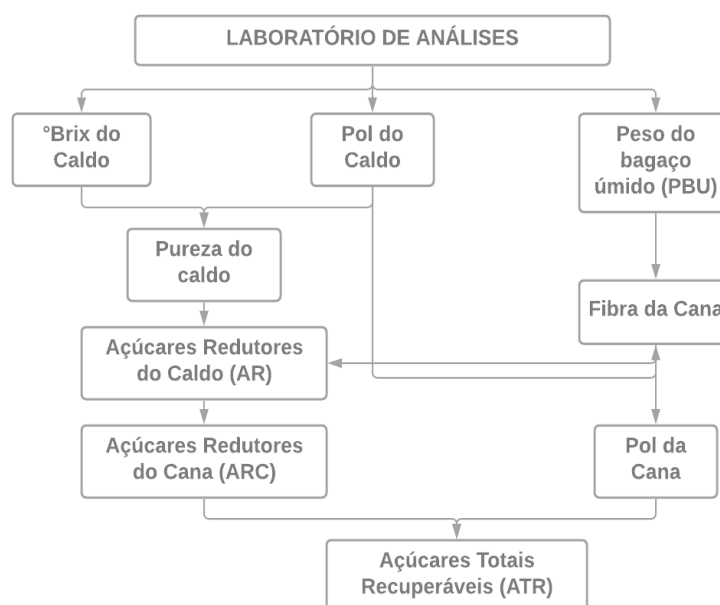
O melaço produzido na fabricação de açúcar é encaminhado para destilaria, a fim de ser aproveitador na produção de etanol. O melaço é misturado ao caldo de cana, fermentado formando o vinho e este é encaminhado para as colunas de destilação fracionadas a fim de

se obter o álcool hidratado. Para produção de álcool anidro é necessário um processo adicional de desidratação.

2.6 Análises de qualidade do caldo da cana

Antes de ocorrer a queima, uma amostra de cana é retirada da área a ser colhida e é analisada quanto a qualidade de acordo com os parâmetros de: °Brix, Pol, Pureza. Os demais fatores tecnológicos referentes a qualidade da cana (fibra, Pol da cana corrigido, açúcares redutores (AR), açúcares redutores totais (ART), açúcares totais recuperáveis (ATR), conforme ilustrado na Figura 2, são calculados através de equações estimadas pelo sistema de pagamento de cana CONSECANA (Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado). Na Paraíba, adota-se o CONSECANA-PE, realizando-se ajustes nos fatores de quantificação em razão das características das variedades de cana utilizadas em cada Estado.

Figura 3 – Fluxograma das análises tecnológicas da cana de açúcar



Fonte: Adaptado manual CONSECANA, 2013

As Equações de (1) a (11), apresentadas a seguir, são aplicadas na quantificação dos fatores de qualidade da cana para determinação dos teores de açúcares totais recuperáveis (ATR), utilizados o pagamento da cana pelo teor de sacarose.

- **°Brix refratométrico**

$$^{\circ}\text{Brix}\% \text{caldo} = \text{leitura do refratômetro} \quad (1)$$

- **Pol % Caldo**

$$\text{Pol}\% \text{caldo} = \text{Lpb} \times (0,2605 - 0,0009882 \times ^{\circ}\text{Brix}\% \text{caldo}) \quad (2)$$

Onde:

Lpb – Leitura sacarimétrica clarificada a base de Chumbo.

- **Pureza % Caldo**

$$\text{Pureza}\% \text{caldo} = \frac{(\text{pol}\% \text{caldo})}{(^{\circ}\text{brix}\% \text{caldo})} \times 100 \quad (3)$$

- **Fibra industrial**

$$F = (0,0779 \times \text{PBU}) + 0,876 \quad (4)$$

Onde:

PBU – Peso do bagaço úmido.

- **Fibra % cana**

$$FC = \frac{100 \times \text{PBS} - \text{BJ} \times \text{PBU}}{5 (100 - \text{BJ})} \quad (5)$$

Onde:

PBS – Peso do bagaço seco;

BJ - °Brix do caldo;

- **Pol % Cana**

$$PC = [S \times (1 - 0,01 \times F) \times c] \quad (6)$$

Onde:

S – Pol do cado extraído;

F – Fibra industrial;

C – Coeficiente de transformação da pol do caldo extraído em pol do caldo absoluto, sendo calculado pela Equação (7:)

$$C = 1,02626 - (0,00046 \times PBU) \quad (7)$$

- **Açúcares Redutores (AR) do caldo**

$$AR\%Caldo = 3,641 - (0,0343 \times Q) \quad (8)$$

Onde:

Q – Pureza do caldo.

- **Açúcares Redutores % Cana (ARC)**

$$AR\%Cana = AR\%Caldo \times (1 - 0,01 \times F) \times C \quad (9)$$

Onde:

F – Fibra % cana

- **Açúcares Totais Recuperáveis (ATR)**

$$ATR = (9,526 \times PC) + (9,05 \times ARC \times K) \quad (10)$$

Onde:

K – Tempo decorrente de queima/corte/carregamento da cana, calculado pela Equação (11):

$$K = 1 - (H - T) \times 0,02 \quad (11)$$

Onde:

H - Tempo, em horas, de respectiva queima/colheita;

T - 72h entre o início da safra (junho) e 31 de agosto;

T - 60h, a partir de setembro até o final da safra.

2.6.1 Processos de amostragens

O processo de amostragem das análises é fundamental, pois interfere nos resultados do material a ser analisado. Dessa forma, os processos de amostragens devem seguir critérios precisos e rigorosos para se obter resultados representativos.

2.6.1.1 *Pré-queima*

A avaliação da cana pré-queimada, corresponde a análise da cana retirada do campo, antes de ser queimada e colhida, e tem como objetivo avaliar a maturação e a qualidade da matéria-prima de acordo com seus componentes tecnológicos. Dessa forma, são retiradas amostras de partes específicas da área/canavial que são enviadas ao laboratório de qualidade.

2.6.1.2 *Cana entrada*

A amostragem da cana entrada é realizada através da perfuração da carga nos caminhões, por uma sonda horizontal que fica situada após a balança de pesagem. A sonda perfura a carga do caminhão em três pontos, definidos por sorteio. A amostra retirada pela sonda é preparada, através de desintegradores (forrageiras) e homogeneizada, seguindo as normas estabelecidas pelo CONSECANA. O caldo extraído é analisado de acordo com os parâmetros de °Brix, Pol, peso de bolo úmido (PBU) e os demais parâmetros de qualidade são quantificados, utilizando as equações de (1) a (11), descritas no item (2.6).

2.6.1.2 *Cana desfibrada*

A cana desfibrada corresponde a amostra de cana que passou pelo processo de preparo, essa amostra é retirada na esteira de passagem de cana, onde-se é coletado pequenas amostras durante curtos intervalos, por um certo período de tempo até completar um volume de aproximadamente 10 kg. Através da amostra coletada, é possível avaliar as condições do processo de preparo da cana, através da análise do IP (índice de preparo) e a qualidade quanto aos parâmetros tecnológicos definidos pelo CONSECANA citados no item 2.6.

2.6.1.3 Caldo 1º terno

O caldo primário é coletado na saída dos rolos do primeiro terno. Por meio desta amostra, avalia-se os parâmetros tecnológicos definidos pelo CONSECANA citados no item 2.6.

2.6.1.4 Caldo residual

A amostragem do caldo residual é realizada através de coletas de caldo no último terno da moenda. O caldo residual é o caldo remanescente presente no bagaço, através dele pode-se analisar os parâmetros tecnológicos de °Brix, Pol e Pureza do caldo. Além disso, através do caldo residual pode-se estimar as perdas na extração, possibilitando avaliar e otimizar o controle da embebição.

2.6.1.5 Bagaço

O bagaço da cana é coletado após passar pelo conjunto de ternos da moenda e através dele são analisados os seguintes parâmetros: Pol e Umidade. O objetivo da análise de pol é quantificar a sacarose perdida no bagaço, enquanto a umidade tem como objetivo quantificar a quantidade de água e componentes voláteis a 105 °C presente na amostra (RABELO, 2010). Estes parâmetros são quantificados através das Equações (12) e (13):

- **Pol % Bagaço**

$$Pol\%Bag = pol\%CEBag \times (1 - 0,01 \times F\%Bag) \quad (12)$$

Onde:

Pol%bag - Pol % bagaço

Pol%CEBag - Pol % caldo extraído do bagaço

F%bag - Fibra % bagaço

- **%Umidade**

$$Umidade\%Bagaço = 81,63 - (0,16 \times PBU) \quad (13)$$

Onde:

PBU - Peso do bolo úmido obtido da prensagem do bagaço.

O bagaço na indústria sucroenergética é reaproveitado no sistema de cogeração de energia, ou seja, na geração simultânea de energia térmica, mecânica e elétrica. Este bagaço é queimado em uma caldeira gerando vapor (energia térmica), o vapor aciona turbinas e equipamentos (energia mecânica) e através de geradores se converte energia mecânica em elétrica. Dessa forma, a umidade do bagaço torna-se um fator importante para um bom funcionamento da caldeira, sendo 48% - 50% uma faixa de umidade boa para combustão (GONÇALVES, 2020).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Na realização deste trabalho foram coletados dados de qualidade do caldo da cana-de-açúcar referentes a cinco semanas da safra de 2020/21 na usina Monte Alegre – Mamanguape – PB.

Os dados foram coletados em locais estratégicos para a quantificação e avaliação das perdas de sacarose, tais como:

- Cana no campo antes da queima e colheita, correspondendo a pré-queima;
- Recebimento, cana na entrada da usina;
- Preparo, cana na esteira;
- Moagem que corresponde ao caldo no primeiro terno e o caldo residual (último terno da moenda);
- Análises das características do bagaço no final do processamento.

4.1 Amostragem

Foram analisados os dados de qualidade da cana e do bagaço, referentes a média de cinco semanas da safra 2020/21. Foram avaliados a variação da pureza e AR nos pontos de amostragem, visando determinar as perdas de sacarose. Os dados avaliados neste estudo foram coletados em planilhas elaboradas pelos responsáveis pela qualidade da cana no campo (pré-queima), recebimento, preparo e moagem (Laboratório de Pagamento de Cana por Teor de Sacarose – LPCTS).

4.2 Quantificação das perdas

As perdas de sacarose no caldo foram calculadas através da variação percentual dos parâmetros tecnológicos (Pureza e AR) nos pontos determinados para este estudo, durante cinco semanas da safra 2020/21.

A quantificação das perdas no bagaço foi realizada através dos dados de umidade% e teor de sacarose, cujo dados foram fornecidos pelo laboratório de recebimento de cana, através do cálculo do poder calorífico inferior (PCI) e poder calorífico superior (PCS).

4.2.1 Cálculo do PCI e PCS do bagaço

As Equações de (14) e (15), apresentadas a seguir, são aplicadas na quantificação do Poder Calorífico Inferior (PCI) e do Poder Calorífico Superior (PCS) do bagaço residual, respectivamente.

- Poder Calorífico Inferior:

$$PCI = (4250 - 12xpol - 48,5xUbg)$$

- Poder Calorífico Superior:

$$PCS = (4600 - 12xPol - 46xUbg)$$

Onde:

Pol – Pol do bagaço;

Ubg – Umidade do bagaço.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dados de qualidade do caldo da cana

Os dados obtidos a partir das análises físico-químicas das amostras retiradas no campo (antes da queima e colheita), recebimento da cana, preparo da cana e primeiro terno da moagem estão apresentados na Tabela 7 e do bagaço residual apresentados na Tabela 8.

Tabela 7: Avaliação dos parâmetros tecnológicos nas semanas avaliadas.

Semana 6										
Local da amostra	Brix	Pol	Pureza	Fibra	PCC	AR	ATR	Variação %Pureza	Variação %AR	Tempo (h) queima/corte
Pré-queima	19,13	16,1	84,3	11,5	13,7	0,56	-	-	-	39
Entrada	19,84	16,5	83,3	14,2	13,5	0,98	136,9	-3,5	75,00	
Esteira	18,58	15,5	83,3	13,3	12,8	0,93	-	-1,2	-5,10	
1° terno	17,78	14,5	81,3	-	-	0,95	-	-1,2	2,15	
Semana 8										
Local da amostra	Brix	Pol	Pureza	Fibra	PCC	AR	ATR	Variação %Pureza	Variação %AR	Tempo (h) queima/cort
Pré-queima	18,27	15,5	84,9	12,7	13	0,6	-	-	-	47
Entrada	21,02	17,6	83,6	14,7	14,2	0,94	140,3	-1,55	56,67	
Esteira	20,34	16,6	81,7	13,8	13,6	0,98	-	-2,30	4,26	
1° terno	18,98	15,5	81,6	-	-	1,01	-	-0,12	3,06	
Semana 9										
Local da amostra	Brix	Pol	Pureza	Fibra	PCC	AR	ATR	Variação %Pureza	Variação %AR	Tempo (h) queima/corte
Pré-queima	22,71	19,6	86,2	13,6	16,1	0,49	-	-	-	30
Entrada	20,95	17,5	83,6	14,6	14,2	0,95	145,4	-2,95	93,88	
Esteira	19,99	16,5	82,6	13,8	13,5	0,98	-	-1,18	3,16	
1° terno	18,89	15,4	81,7	-	-	0,96	-	-1,16	-2,04	

Continuação da Tabela 7

Semana 13										
Local da amostra	Brix	Pol	Pureza	Fibra	PCC	AR	ATR	Varição %Pureza	Varição %AR	Tempo (h) queima/corte
Pré-queima	20,01	17	84,91	12,7	14,2	0,48	-	-	-	38
Entrada	21,18	18	84,75	14,7	14,5	0,85	140,4	-0,19	77,08	
Esteira	20,66	17	82,04	13,8	13,9	1,12	-	-3,19	31,76	
1° terno	19,21	15,9	82,77	-	-	1,21	-	0,89	8,04	
Semana 14										
Local da amostra	Brix	Pol	Pureza	Fibra	PCC	AR	ATR	Varição %Pureza	Varição %AR	Tempo (h) queima/corte
Pré-queima	22,58	19,35	85,7	12,99	16,08	0,45	-	-	-	47
Entrada	20,86	17,65	84,61	14,76	14,22	0,86	142,73	-1,26	91,11	
Esteira	20,05	16,62	82,89	13,99	13,57	1,03	-	-2,03	19,77	
1° terno	18,81	15,54	82,62	-	-	1,09	-	-0,33	-5,83	

Fonte: Autor, 2020.

Avaliando os dados apresentados na Tabela 7, podemos perceber a variação percentual negativa de pureza, significando a queda da pureza entre as etapas analisadas. Pode-se ressaltar a elevada redução de pureza e o aumento do percentual de açúcares redutores, que ocorreu principalmente entre o campo e a entrega de cana na usina, o que pode indicar um aumento na dificuldade da recuperação da sacarose na cristalização e o favorecendo a formação de dextranas, como é indicado na Tabela 3.

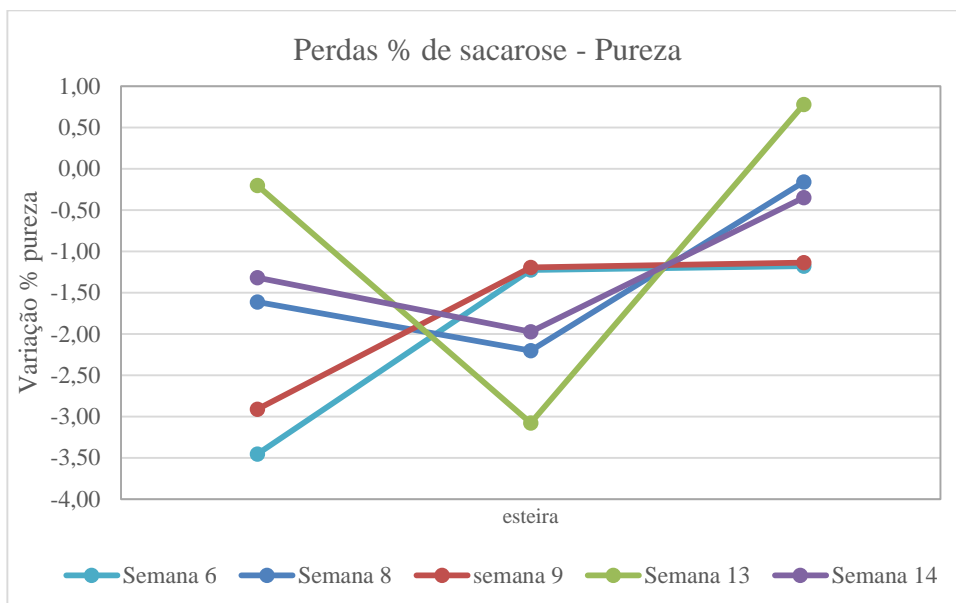
Considerando os dados das semanas 9 e 14, na Tabela 7, pode-se perceber que as maiores perdas ocorreram entre a cana na entrada e a cana na esteira, essas perdas ficam evidenciadas através da redução da variação percentual de pureza e do aumento da variação percentual do AR, maiores que nas outras semanas do estudo. Além disso, no laboratório PCTS o índice de preparo é acima de 90%, tendo em vista que a troca das facas são frequentes na forrageira e a preparação é mais eficiente que o preparo no picador e desfibrador do processo industrial, o que diminui o open cell e consequentemente reduz a extração do açúcar.

Essas perdas podem ser entendidas como perdas lavagem e/ou perdas por inversão da sacarose ocasionadas por falta de limpeza e desinfecção da esteira metálica, facas e

martelas e esteira de borracha ou falhas na dosagem de bactericida que podem ser evitadas através de controles e limpezas periódicas.

A partir dos dados calculados da variação percentual de pureza e AR, entre os pontos analisados, pode-se relacionar as semanas estudadas conforme ilustrado nas Figuras 3 e 4, respectivamente.

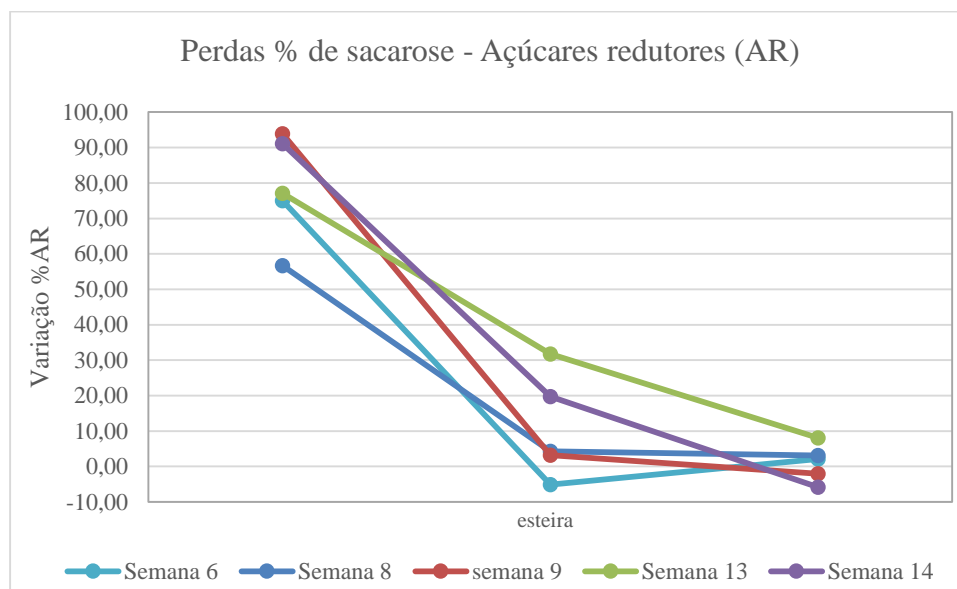
Figura 3: Variação percentual de pureza durante o período de estudo.



Fonte: Autor, 2020.

Associando os dados da Figura 3, referentes as perdas de pureza na cana desde o campo até a extração, com a avaliação de Rein (2013), onde o mesmo justifica que as reduções nos percentuais de pureza podem ser evidências de destruição da sacarose. No entanto, esse parâmetro são relativos e difíceis de medir com precisão. Além disso, a redução da pureza também está associada a presença de dextranas que causam falsas leituras de pol, devido sua alta polarização, comprometendo os resultados analíticos e ainda pode aumentar a contaminação microbiológica.

Figura 4: Gráfico da variação percentual de Pureza durante o período de estudo.



Fonte: Autor, 2020.

Observando a Figura 4 da variação percentual de açúcares redutores nas semanas estudadas, foi possível perceber que a maior variação ocorreu entre as etapas de pré-queima e cana entrada em todas as semanas. O aumento dos açúcares redutores pode ser ocasionado pelo maior tempo de queima, corte e processamento, o que pode aumentar o consumo de insumos no tratamento do caldo.

4.1 Dados do bagaço residual

Tabela 8: Avaliação dos parâmetros tecnológicos do bagaço nas semanas avaliadas.

Bagaço residual/ semana	Pol	Umidade %	PCS (Kcal/kg)	PCI (kcal/kg)
6	1,76	51,03	106.599,19	4.244,77
8	1,81	50,38	106.599,05	4.244,69
9	1,79	50,87	107.635,89	4.244,70
13	1,74	50,02	105.837,52	4.244,93
14	1,77	50,96	107.826,38	4.244,75

Fonte: Autor, 2020.

Avaliando os dados da Tabela 8, observamos que houve pouca variação nos parâmetros analisados, significando uma estabilidade no processo. No entanto, de acordo

com a avaliação de Rein (2013), reduzir a umidade do bagaço significa melhorar o potencial deste como combustível usado na cogeração. Além disso, ainda de acordo com a avaliação de Rein (2013) uma redução de 1% na umidade do bagaço pode resultar em uma redução de cerca de 0,2% de sacarose no bagaço.

5. CONCLUSÃO

Após o estudo realizado na usina Monte Alegre, no qual tinha como objetivo quantificar e avaliar as perdas no processo de recepção, preparo e moagem, foi possível concluir que as maiores perdas de sacarose ocorrem por meio de inversão entre as etapas de pré-queima e cana entrada, ou seja, no tempo decorrido entre a queima e processamento da matéria-prima.

Diante do estudo realizado, fica evidente ainda que houve maiores perdas na semana 13 entre a cana entrada e cana na esteira, resultando no aumento de 31,76% na variação de açúcares redutores.

No entanto, o estudo precisa ser complementado, realizando-se acompanhamento das amostras, tendo em vista a falta de equivalência no processo de amostragem da etapa de pré-queima e recebimento da cana, reduzindo as interferências analíticas, tornados números mais próximos da realidade.

O bagaço residual, utilizado para à geração de energia na caldeira apresentou estabilidade nas suas característica físico-química e nos potenciais caloríficos, otimizando o funcionamento da caldeira.

Por fim, conclui-se ainda que as perdas de sacarose no processo de recebimento, preparo e moagem da cana podem ser minimizadas através de controles de qualidades e melhorias no processo que visam o controle de qualidade da matéria-prima, desinfecção dos equipamentos e a eficiências dos processos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE F. M. **Processo de fabricação do açúcar**. Pernambuco: Editora Universitária UFPE, 4 ed, 2016.

AMORIM, H. V; OLIVEIRA, A. J; SILVA, L. F. L. F; BERNADINO, C. D; GODOY, A; ALVES, D. M. G. **Impact of sugarcane quality on sugar and alcohol yields**. International Sugar Journal, v.102, n.1214, p.86-88, 2000.

BIGATON, A.; MORAES, J. M. M. DE; SILVA, H. J. T. DA; ROSA, J. H. M. **Evolução de indicadores industriais e custos de produção do setor sucroenergético**. Revista iPecege 4(2):77-81, 2018.

BUKHARI, M. M.; KHASEH, S. E.; OSMAN, A.; HEGAZI, S. E. F. **Investigations of the influence of dextran on sugar cane quality and sugar cane processing in Kenana sugar factory**. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, v.7, n.4, p.381-392, 2015.

CALDAS, C. S. **Novo manual para laboratórios sucroalcooleiros**. Maceió: Moura Ramos, 2011.

CONAB – Companhia Nacional de abastecimento, ACONPAHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA – Cana-de-açúcar Safra 2020/21 N.2 - Segundo levantamento | AGOSTO 2020.

CONAB – Companhia Nacional de abastecimento, ACONPAHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA – Cana-de-açúcar Safra 2019/20 N.3 – Terceiro levantamento | DEZEMBRO 2019.

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE PERNAMBUCO. CONSECANA-PE. Manual das normas institucionais e operacionais do sistema de pagamento de cana-de-açúcar. 2ºed. Recife, 2011.

CUNHA, B. **Tecnologia do açúcar. Da matéria-prima a evaporação.** C.13. Rio de Janeiro: Companhia editora americana, 1974.

EGGLESTON, G; LEGENDRE, B.; RICHARD, C. **Effect of harvest method and storage time on sugarcane deterioration I: cane quality changes.** International Sugar Journal, 103(1232): 331-338, 2001.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar.** 2. ed. Piracicaba-SP: Stab, 2003.

GODSHALL, M. A.; LEGENDRE, B. L.; RICHARD, C.; TICHE, R. **Effect of harvest system on cane juice quality.** Proceedings of the 2000 Sugar Processing Research Conference, Porto, Portugal, 9-12, 2002.

GONÇALVES, L.C.T.C. **Introdução à Tecnologia Sucroalcooleira I,** Editora UFPB. 2020.

HUGOT, E. **Manual da engenharia açucareira.** Volume I. São Paulo: Mestre Jou, 1977.

HUMBERT, R. P. The growing of sugar cane. Ed. Elsevier. Amsterdam. 1968. 779p.

MANTELATTO, P. E. **Estudo do processo de cristalização de soluções impuras de sacarose por resfriamento.** Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

MOURA, de L. C.; SILVA, da N. F.; CUNHA, F. N.; BASTOS, F. J. de C.; CÉLIA, J. A.; TEIXEIRA, M. B. **Índice de maturação da cana-de-açúcar fertirrigada sobre diferentes lâminas.** Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v.8, nº. 1, p. 64 - 76, 2014.

MUTTON, M. J. R; MUTTON, M. A. **Identificação de perdas de açúcares no setor agrícola.**

STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, v.23, n.4, p.42-46, 2005.

ORLANDO FILHO, J. (Coord.) **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil.** Piracicaba: IAA-PLANALSUCAR, p.125-152, 1983.

PAES, L. A. D. Impurezas e qualidade da cana-de-açúcar: **Levantamento dos níveis de impurezas nas últimas safras**. Centro de Tecnologia Canavieira. 2014. Disponível em: <http://www.stab.org.br/palestra_ws_limpeza_da_cana/JAIME_FINGUERUT.pdf>. Acesso em: 25 de out. 2020.

RABELO, S. C. **Avaliação e otimização de pré-tratamentos e hidrólises enzimáticas do bagaço de cana-de-açúcar para produção de etanol de segunda geração**. Tese (Doutorado em engenharia química). Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2010.

REIN, P. **Engenharia do açúcar de cana**. Bartens. Berlin, 2013.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e transporte. Piracicaba, SP: 2004.

SANTOS DOS, N. U. **Planejamento e quantificação de perdas nos processos sucroalcooleiros**. Pirassununga-SP, 2017.

SANTOS, F.; BORÉM, A. **Cana-de-açúcar: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: UFV, 2016.

SAXENA, P.; SRIVASTAVA, R. P.; SHARMA, M. L. **Impact of cut to crush delay and bio-chemical changes in sugarcane**. Australian Journal of Crop Science, v.4, n.9, p.692-699, 2010.

SINGLETON, V., HORN, J., BUCKE, C. AND ADLARD, M. International Sugar Journal, 103(1230), 251-254, 2001

SILVA, da F.C.; CESAR, M. A. A.; PARAZZI, C.; SILVA, da E. R.; TANAKA, E. M.; ARDILLES, E. H. **Influência do tempo decorrido após queima/corte/transporte sobre as características agrotecnológicas da cana-de-açúcar**. Pesq. Agropec. Bras. Brasília, v.29, n4, p.561-570, abril. 1994.

TILBURY, R. H.; HOLLINGSWORTH, B. S.; GRAHAM, S. D.; POTTAGE, P. Mill sanitization – **a fresh approach to biocide evaluation**. Proceeding of I.S.S.C.T. XVI Congress, 1977; 2749-2768.